

## 1. はじめに

円形断面 RC 部材は社会基盤構造物に多く採用されているが、矩形断面 RC 部材についての研究がいろいろあるけど、円形断面 RC 部材のせん断耐力評価についての研究がまだ不十分である。円形断面 RC 部材のせん断設計課題は過去の地震災害により顕在化している。また、設計で考慮した条件、例えば荷重条件や境界条件が実際の構造物で異なっていることがあるので、実際の既設構造物の耐震性能を評価するために、実際の構造物のせん断耐力を適切に、そのまま評価する必要がある。

## 2. 研究概要

現行の示方書<sup>1)</sup>は以下の2つの問題点が挙げられる。一つ目は円形断面 RC 部材のせん断耐力への貢献が期待される一部の軸方向鉄筋が無視された。二つ目は円形せん断補強鉄筋の貢献度は、斜めひび割れと鉄筋の交差位置に依存して大きく異なるけど、全部 45 度と仮定された。この2つの問題点を解決するために、渡辺らは新しい計算式を提案した<sup>2)</sup>。しかし、渡辺らの研究は実測の斜めひび割れ角度を使った。渡辺式の使える範囲を広げるために、斜めひび割れの予測方法が必要である。なので、斜めひび割れ角度を用いてせん断耐力の予測方法を提案した。

## 3. 既往の研究

### 3.1 渡辺らの研究

渡辺らの研究は、現行の示方書で無視されている圧縮側の軸方向鉄筋と斜めひび割れ角度のせん断耐力への影響を考慮し、多段に配置された RC はりの引張鉄筋断面積および円形断面 RC はりに対するせん断補強鉄筋の貢献分の算定式を提案した。実験を通じて、図 1 の示すように、渡辺法は精度よく円形断面 RC はりのせん断耐力を予測できることを確認した。しかし、渡辺らの研究は実測された斜めひび割れ角度を使用した。なので、他の場合にも渡辺式を適用できるため、

斜めひび割れ角度の予測方法は必要である。

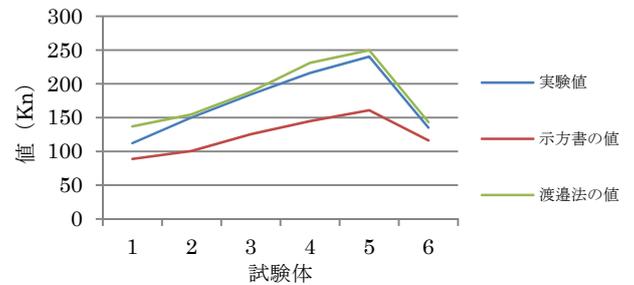


図 1 渡辺らの研究の結果

## 3.2 AASHTO LRFD (2007 年版)

AASHTO LRFD<sup>3)</sup>によって、斜めひび割れ角度は計算用の図 2 のような表のデータを使い、繰り返して計算すれば得られる。

$v_u/f_c$	$\epsilon_s \times 1000$											
	$\leq -0.20$	$\leq -0.10$	$\leq -0.05$	$\leq 0.00$	$\leq 0.125$	$\leq 0.25$	$\leq 0.50$	$\leq 0.75$	$\leq 1.00$	$\leq 1.50$	$\leq 2.00$	
$\leq 0.075$	$\theta$ 22.3°	20.4°	21.0°	21.8°	24.3°	26.6°	30.5°	33.7°	36.4°	40.8°	43.9°	
	$\beta$ 6.32	4.75	4.10	3.75	3.24	2.94	2.5	2.38	2.23	1.95	1.67	
$\leq 0.100$	$\theta$ 18.1°	20.4°	21.4°	22.5°	24.9°	27.1°	30.8°	34.0°	36.7°	40.8°	43.1°	
	$\beta$ 3.79	3.38	3.24	3.14	2.91	2.75	2.5	2.32	2.18	1.93	1.69	
$\leq 0.125$	$\theta$ 19.9°	21.9°	22.8°	23.7°	25.9°	27.9°	31.4°	34.4°	37.0°	41.0°	43.2°	
	$\beta$ 3.18	2.99	2.94	2.87	2.74	2.62	2.42	2.26	2.13	1.90	1.67	
$\leq 0.150$	$\theta$ 21.6°	23.3°	24.2°	25.0°	26.9°	28.8°	32.1°	34.9°	37.3°	40.5°	42.8°	
	$\beta$ 2.88	2.79	2.78	2.72	2.60	2.52	2.36	2.21	2.08	1.82	1.62	
$\leq 0.175$	$\theta$ 23.2°	24.7°	25.5°	26.2°	28.0°	29.7°	32.7°	35.2°	36.8°	39.7°	42.2°	
	$\beta$ 2.73	2.66	2.65	2.60	2.52	2.44	2.28	2.14	1.96	1.71	1.54	
$\leq 0.200$	$\theta$ 24.7°	26.1°	26.7°	27.4°	29.0°	30.6°	32.8°	34.5°	36.1°	39.2°	41.7°	
	$\beta$ 2.63	2.59	2.52	2.51	2.43	2.37	2.14	1.94	1.79	1.61	1.47	
$\leq 0.225$	$\theta$ 26.1°	27.3°	27.9°	28.5°	30.0°	30.8°	32.3°	34.0°	35.7°	38.8°	41.4°	
	$\beta$ 2.53	2.45	2.42	2.40	2.34	2.14	1.8	1.73	1.64	1.51	1.39	
$\leq 0.250$	$\theta$ 27.5°	28.6°	29.1°	29.7°	30.6°	31.3°	32.8°	34.3°	35.8°	38.6°	41.2°	
	$\beta$ 2.39	2.39	2.33	2.33	2.12	1.93	1.70	1.58	1.50	1.38	1.29	

図 2 斜めひび割れ角度の計算用表 ( $A_v > A_{vm}$ )

## 4. 提案法

### 4.1 概要

AASHTO LRFD 方法で算出した斜めひび割れ角度を用い、渡辺法で円形断面 RC はりのせん断耐力評価手法を提案した。さらに、AASHTO 方法の簡単に設定した幅と有効高さの代わりに、厳密な渡辺法の幅と有効高さを代用し、AASHTO 方法の斜めひび割れ角度の予測方を修正し、渡辺法でせん断耐力を予測するという方法も提案した。

### 4.2 解析の結果

実測角度を用いて渡辺法でせん断耐力を計算すること、AASHTO 方法で予測した角度を用いて渡辺法で計

算すること、および示方書で計算すること、3つの方法の精度の関係は図3のように示されている。渡辺らの試験体の範囲で AASHTO 方法で予測した角度を用いて算出した結果と実測角度を用いて算出した結果の精度はほぼ同じであるが、現行の示方書よりせん断耐力予測の精度は大きく上回ることを確認した。

	実測角度	AASHTO 法	示方書法
	Vcal/Vexp	Vcal/Vexp	Vjsce/Vexp
8CB0.13	1.22	1.04	0.79
8CB0.19	1.03	0.94	0.67
8CB0.32	1.02	0.90	0.68
16CB0.32	1.07	0.90	0.67
16CB0.42	1.04	0.88	0.67
5CB0.19	1.06	0.91	0.86
平均値	1.07	0.93	0.72
標準偏差	0.08	0.06	0.08

図3 引抜き荷重-自由端変位曲線

また、他の試験体にも適用できるかどうかを検証するために、Jensen らの研究<sup>4)</sup>の結果も再現した。実測角度のデータがないため、比べることができない。しかし、示方書で算出した結果より、精度は大きく上回ることを確認した。

さらに、修正 AASHTO 提案法についての渡辺らの試験体の結果は図のように示されています。提案法で算出した値と実験値の比は修正しない AASHTO 方法で算出した値と実験値の比より 1 に近いので、提案法の精度の方が良いと言える。

最後に、Jensen らの試験体について、解析を通じて、提案法の方が精度が良いことを確認した。

	AASHTO/実験値	提案法/実験値	示方書/実験値
	Vcal/Vexp	Vcal/Vexp	Vjsce/Vexp
8CB0.13	1.04	1.04	0.79
8CB0.19	0.94	0.99	0.67
8CB0.32	0.9	0.9	0.68
16CB0.32	0.9	0.96	0.67
16CB0.42	0.88	0.94	0.67
5CB0.19	0.91	1.02	0.86

	AASHTO/実験値	提案法/実験値	示方書/実験値
	Vcal/Vexp	Vcal/Vexp	Vjsce/Vexp
平均値	0.93	0.97	0.72
標準偏差	0.06	0.05	0.08

図3 引抜き荷重-自由端変位曲線

## 5. まとめ

- 1) 中実円形断面 RC はりのせん断耐力の実験値は、現行の方法で無視されている軸方向鉄筋が有効に作用することで、現行のせん断耐力の算定値を大きく上回ることを確認した。
- 2) AASHTO 方法で予測角度は実測角度より大きいですが、予測角度で算出したせん断耐力は、実測角度で算出したせん断耐力との精度はほぼ同じ、現行の示方書より、精度は大きく上回る。提案法により算出した角度を用いると、精度はもっとよくなることを確認した。

## 5. 今後の予定

- 1) 修正圧縮場理論を用いた簡単なせん断耐力評価方法の詳細を調べること。
- 2) 斜めひび割れ角度は 43.9 度を超える場合があるかを究明すること。
- 3) 円形断面を有する RC 部材のせん断耐力と a/d、支持条件、などの関係を究明すること。

## 参考文献

- 1) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書（設計編），2007.12.
- 2) 渡辺 健, 大石 峻也, 米花 萌, 二羽 淳一郎: 中実円形断面鉄筋コンクリートはりのせん断耐力に関する実験的研究, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol. 67, No. 2, 200-212, 2011.
- 3) American Association of State Highway and Transportation Official, AASHTO LFRD Bridge design specifications. fourth ed. 2007.
- 4) Jensen, U.G.; Hoang, L.C.; Joergensen, H.B.; and Fabrin, L.S., "Shear Strength of Heavily Reinforced Concrete Members with Circular Cross-Section, " Engineering Structures, V. 32, NO. 3, 2010, pp. 617-626. doi: 10.1016/j.engstrut.2009.11.008